Analysis des jährlichen Wärmeganges von Gebirgsschuttquellen

Von

Fritz Kerner-Marilaun

korr. Mitglied der Akad. der Wiss.

(Mit 2 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 20. Februar 1941)

Das Maß, in welchem der jährliche Wärmegang von Gebirgsquellen von dem des umgebenden Erdbodens abweichen kann, ist vorzugsweise eine Funktion der Bodendurchlässigkeit. Bei aus sehr lockerem Schutte entspringenden Quellen können die thermischen Phasenzeiten von denen des Grundwasserhalters sehr verschieden sein. Ein sinnfälliges Beispiel hiefür der schöne Quellenhorizont am Burgweg im Gschnitztal.

Dieser Quellenhorizont liegt am unteren Ende des mittleren der drei Gräben, aus deren Vereinigung die westlich von Trins in den Nordhang des Gschnitztales eindringende Schlucht hervorgeht. Dieser Horizont kommt dadurch zustande, daß der Grundwasserstrom unter der Sohle eines Grabens durch den aus einem Nebengraben zufließenden Bach (Padasterbach) seitlich bloßgelegt wird. Er besteht aus einer Kette von Wasseraustritten längs eines Bachufers und tritt so in morphologischen Gegensatz zu dem Quellenhorizont im östlich benachbarten Val Schwern, welcher durch Frontalanschnitt einer Grundwasserströmung infolge Gefällsknickes einer Grabensohle zustande kommt. Die durch glaziale Ausräumung und Aufschüttung geschaffene Hohlform des Burgweges ist mit nacheiszeitlich mehrmals umgeschwemmtem feinstückigem Dolomitschutt erfüllt. (Im Liegenden auch krystallines Erratikum aus dem Talinnern.) Dieser bildet einen ziemlich gleichmäßig durchlässigen Boden und es ist so für den in Rede stehenden Horizont die Bedingung für Isothermie weitgehend erfüllt. Er unterscheidet sich dadurch von dem östlich benachbarten Val Schwern-Horizont und dem tiefer unten gelegenen Horizont in der Schlucht „in den Höllen", welche beide bemerkenswert anisotherm sind.[1] Daß die Schuttfüllung des

[1] F. v. Kerner, Anisothermie in Quellhorizonten und ihre geologische Deutung. Diese Sitz.-Ber., *141*, Bd. 5—7, Heft 1932.

Einzugsgebietes des Burgweghorizonts, des Padailgrabens, sehr durchlässig ist, geht daraus hervor, daß dieser Graben jeden obertägigen Wasserweges vollständig entbehrt. Im Val Schwern ist oberhalb des Quellaustrittes noch ein zwar oft ausgetrocknetes, zeitweise aber doch wasserführendes Rinnsal vorhanden.

Der Burgweghorizont beginnt mit einer Reihe schwächerer Quellen, die nach dem Abfluß der Schmelzwässer des Winterschnees bald versiegen. Sie setzt sich in eine Reihe von Wasseraustritten fort, welche gegen den Herbst zu mehr oder minder an Stärke verlieren; in deren Verlängerung folgt eine Kette von kräftigen Quellen, die auch im Herbste keine merkliche Stärkeabnahme zeigen. Es handelt sich sonach um Anschnitte sukzessive tieferer Grundwasserträger.

Etwas seitlich vom Bache folgen dann noch einige Quellen, welche wieder mehr oberflächlich liegende Bodenschichten entwässern.

Messungen von Quellentemperaturen im Sommer und Frühherbst.

Ein 1918 unternommener Versuch, alle selbständigen Wasseraustritte am Burgweg zu erfassen, führte zur Messung von 24 Quellen; doch ließen sich wegen zeitweisen Versiegens mehrerer derselben für die Sommer 1918—1920 nur siebzehn lückenlose Messungsreihen gewinnen. In den Sommern 1905 und 1909 waren schon Messungen von Burgwegquellen vorausgegangen, in den Sommern 1935 und 1936 solche nachgefolgt, welche für zehn Quellen gemeinsam lückenlose Reihen ergaben. Da trat der Vorteil einer größeren Zahl der gemessenen Quellen mit dem einer größeren Zahl der Messungsjahre in Wettbewerb und es schien eine Mitteilung beider Serien am Platze.

Die Ablesungen fanden in allen Sommern von Mitte Juni bis Ende September statt. Soweit sie nicht an den Monatstagen 1 und 16 erfolgten und sich um ein bis drei Tage verfrühten oder verspäteten, wurden sie auf jene Termine graphisch reduziert. Nur die am 16. Juni fällige Messung verspätete sich in einigen Fällen um eine Woche.

Tabelle I enthält die dreijährigen Mittelwerte der siebzehngliedrigen Reihe.

Insofern die Temperaturänderung im Burgweghorizont einer Schaukelbewegung entspricht, welche im Frühsommer von negativen zu positiven Werten, im Hochsommer und Herbste von positiven zu negativen Werten umschwingt, kommt sie in einer Darstellung der Temperaturen als Abweichungen vom Horizontmittel am besten zum Ausdruck. (Tabelle II.)

Tabelle I.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
α .	4·52	4·71	5·10	5·35	5·55	5·63	5·59	5·35
β .	4·50	4·70	5·05	5·33	5·50	5·55	5·44	5·30
β' .	4·47	4·66	4·98	5·33	5·47	5·53	5·39	5·27
γ .	4·46	4·66	4·98	5·30	5·45	5·53	5·39	5·23
γ' .	4·52	4·68	5·01	5·35	5·53	5·54	5·49	5·33
δ .	4·54	4·68	4·97	5·25	5·39	5·44	5·40	5·28
ε.	4·50	4·66	4·93	5·16	5·32	5·40	5·36	5·27
ζ.	4·54	4·68	4·94	5·20	5·32	5·39	5·33	5·23
ζ' .	4·53	4·66	4·91	5·17	5·29	5·37	5·32	5·20
η	4·54	4·62	4·80	5·07	5·13	5·22	5·19	5·14
η' .	4·56	4·63	4·80	5·07	5·13	5·21	5·21	5·16
ϑ .	4·62	4·64	4·78	4·92	5·03	5·16	5·18	5·05
ι. . .	4·76	4·83	4·98	5·02	5·22	5·41	5·35	5·13
κ .	4·69	4·73	4·81	4·89	4·98	5·10	5·08	5·02
λ .	4·70	4·76	4·91	5·02	5·09	5·22	5·29	5·14
λ'	4·70	4·78	4·94	5·01	5·10	5·22	5·21	5·18
μ .	4·83	4·93	5·07	5·23	5·30	5·42	5·54	5·47

Tabelle II.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
α .	—07	00	+16	+19	+27	+26	+25	+13
β .	—09	—01	+11	+17	+22	+18	+10	+08
β' .	—12	—05	+04	+17	+19	+16	+05	+05
γ . . .	—13	—05	+04	+14	+17	+16	+05	+01
γ' .	—07	—03	+07	+19	+25	+17	+15	+11
δ .	—05	—03	+03	+09	+11	+07	+06	+06
ε. . .	—09	—05	—01	00	+04	+03	+02	+05
ζ. .	—05	—03	00	+04	+04	+02	—01	+01
ζ' .	—06	—05	—03	+01	+01	00	—02	—02
η .	—05	—09	—14	—09	—15	—15	—15	—08
η' . .	—03	—08	—14	—09	—15	—16	—13	—06
ϑ .	+03	—07	—16	—24	—25	—21	—16	—17
ι.	+17	+12	+04	—14	—06	+04	+01	—09
κ . .	+10	+02	—13	—27	—30	—27	—26	—20
λ .	+11	+05	—03	—14	—19	—15	—05	—08
λ' .	+11	+07	00	—15	—18	—15	—13	—04
μ . .	+24	+22	+13	+07	+02	+05	+20	+25

Zur Aufzeigung der Feinheiten des Wärmebildes dient eine Darstellung der Temperaturen in Prozenten des örtlichen Wärme-

spielraumes (Tabelle III), weil sie die Sachverhalte in vergrößertem Maßstabe vorführt. Die Differenz zwischen der kältesten und wärmsten Quelle (= 100%) beträgt an den ersten drei Messungsterminen ein Drittel, an den andern die Hälfte eines Wärmegrades.

Tabelle III.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
α	16	29	100	100	100	100	100	73
β	11	26	84	96	91	85	71	62
β'	3	13	63	96	86	81	61	56
γ	0	13	63	89	82	81	61	47
γ'	16	19	72	100	96	83	80	69
δ	22	19	60	78	72	64	63	58
ε	11	13	47	59	60	57	55	56
ζ	22	19	50	67	60	55	50	47
ζ'	19	13	41	61	54	51	47	40
η	22	0	6	39	26	23	21	27
η'	27	3	6	39	26	21	26	31
ϑ	43	7	0	7	9	11	20	7
	81	68	63	28	42	58	53	24
κ	62	35	9	0	0	0	0	0
λ	65	45	41	28	19	23	41	27
λ'	65	52	50	26	21	23	26	36
μ	100	100	91	74	56	60	90	100

Die mittleren Sommertemperaturen (M), Mittel der acht Terminmessungen von Mitte Juni bis Ende September, und die Sommeramplituden (A), Differenzen zwischen den Temperaturen um Mitte Juni und jenen um Ende August oder Mitte September, sind:

Quelle	M	A	Quelle	M	A	Quelle	M	A
α	5·23	1·11	ε	5·07	0·90	ϑ	4·92	0·56
β	5·17	1·05	ζ	5·08	0·85	ι	5·09	0·65
β'	5·14	1·06	ζ'	5·06	0·84	κ	4·91	0·41
γ	5·13	1·07	η	4·96	0·68	λ	5·02	0·59
γ'	5·18	1·02	η'	4·97	0·65	λ'	5·02	0·52
δ	5·12	0·90	—	—	—	μ	5·22	0·71

Das stufenweise Absinken der mittleren Sommertemperaturen bachabwärts weist auf eine Schichtung des Grundwasserträgers

hin. Die Quellen β bis γ' (Mittel 5·15), dann ε—ζ' (Mittel 5·07), ferner η und η' (Mittel 4·97) und ϑ und $\varkappa$ (Mittel 4·91) entwässern sukzessive tiefere Schuttlagen. Diese liegen völlig flach. Es wird dies durch die Quelle ι bezeugt; sie tritt nicht — wie die andern — am Bachufer aus, sondern einige Meter höher oben an einer Böschung und zeigt dieselbe Temperatur wie die in gleicher Höhenlage weiter bachaufwärts am Ufer entspringenden Quellen.

Durch die genannten Schuttlagen entleeren sich die großen Massen von Schmelzwasser des Winterschnees von weiter talaufwärts. Daher die tiefen und sehr gleichmäßigen Temperaturen der diesen Lagen entweichenden Grundwässer in der zweiten Junihälfte (erster und zweiter Messungstermin). Weiter bachabwärts breiten sich Schuttlagen aus, welche das östlich vom Bache gelegene Gelände entwässern. Hier sinken die Temperaturen im Vorsommer nicht so tief ab, wie weiter bachaufwärts, steigen im Herbste aber auch hoch an. Auch bei den Höchsttemperaturen am Herbstbeginn ist entsprechend dem — trotz der angenäherten Konstanz der Frühsommertemperaturen — sich zeigenden stufenförmigen Absinken der mittleren Sommertemperaturen ein solches Absinken zu erkennen: Oberste Schuttlage 5·55 bis 5·54, tiefere 5·40 bis 5·37, nächsttiefere 5·21, tiefste seitlich bloßgelegte 5·10.

Die fast gleiche Wertgestaltung der Junitemperaturen in allen Bodentiefen, welche am Burgweghorizont als thermische Wirkung der Winterschneeschmelze erwächst, bezeugt einen mächtigen, alle örtlichen Unterschiede im Quelladernetze ausgleichenden Grundwasserstrom. Er setzt einen sehr lockeren Boden und eine sehr passende Terraingestaltung voraus; beide Bedingnisse sind vollauf erfüllt. Für eine große Durchlässigkeit des Dolomitschuttbodens spricht es, daß auch der Padasterbach, welcher wegen Mitbeteiligung von Schiefern am Aufbau seines Entwicklungsgebietes schon in der alpinen Region obertägig fließt (in welcher der benachbarte Padailgraben ganz wasserlos ist), bachaufwärts von dem Verlaufsstück, auf welchem er den Burgweghorizont erzeugt, eine Strecke weit verschwindet. Die Geländegestaltung ist so, daß die Talrinne des Burgwegs die Schmelzwässer der Gesamtheit der im Padailgraben angesammelten Schneemassen aus erster Hand empfängt.

Das Maximum zeigt eine nur geringe Senkung und eine sehr schwache Verzögerung mit zunehmender Bodentiefe, sozusagen eine nicht zur Vollentwicklung gereifte Ausbildung des durch die Schneeschmelze erzeugten Sachverhaltes. Als Einfluß, welcher eine rasche Temperaturverfrachtung nach unten, bzw. eine große Verlangsamung der Wärmeänderung mit wachsender

Tiefe bedingen kann, sind die Sommerregen in Betracht zu ziehen. Sie wirken im Vereine mit dem sie begleitenden Sonnenscheinmangel der Entwicklung höherer absoluter Werte des Maximums entgegen. Von ähnlicher Wirkung ist der Umstand, daß die stärkste Bestrahlung zur Zeit der Sommersonnenwende in die Zeit stärkster Bodenabkühlung durch die Winterschneeschmelze fällt.

Bei dieser laufen am Burgweghorizont das Maß der Wärmesenkung und die Annäherung an die Konstanz nicht parallel. Bei den Quellen β bis ζ' sinkt die mittlere Abweichung zu Anfang Juli auf ± 0·01°, während sie um Mitte Juni bei um 0·16 tieferen Temperaturen ein wenig größer, > 0·03° bleibt. Der Verlauf des Frühlingshochwassers des Padasterbaches und der Ablauf des Schmelzprozesses im Padailgraben (Wurzelgebiet des Burgweghorizonts) machen es wahrscheinlich, daß das Temperaturminimum in diesem zu Anfang Juni, 15 Tage vor dem ersten Messungstermin, eintritt. Dann ergibt sich für diese Quellreihe ein jährlicher Gang, bei welchem die Zeitspanne vom Minimum zum Maximum nur drei Monate umfaßt.

Der jährliche Gang der Quellentemperatur.

Seinen einfachsten analytischen Ausdruck findet ein Jahresgang mit auf die Hälfte seiner normalen Dauer verkürztem Zeitabstand zwischen Minimum und Maximum durch zwei Sinuskurven, deren Parameter durch die Relationen:

$$p'' = 0{\cdot}250\,A \quad \text{und} \quad p'' = 0{\cdot}707\,p'$$

bestimmt sind und deren Phasenwinkel um 180° differieren. Als Jahresmittel ergibt sich die Temperatur um Mitte Juli (Dritter Messungstermin). Das Minimum erhält man, wenn man die Differenz zwischen den Temperaturen am sechsten und dritten Termin von der letzteren abzieht. So bekommt man die Gleichung:

$$t = M + p' \sin (180 + x) + p'' \sin (0 + 2\,x).$$

Für die Parameter wurden folgende Werte gefunden:

Quelle	p'	p''	Quelle	p'	p''	Quelle	p'	p''
α	375	265	ε	332	235	ϑ	269	190
β	354	250	ζ	318	225	ι	304	215
β'	389	275	ζ'	325	230	κ	205	145
γ	389	275	η	297	210	λ	269	190
γ'	375	265	η'	297	210	λ'	198	140
δ	332	235	—	—	—	μ	332	235

(Der Dezimalpunkt vor der ersten Ziffer ist weggelassen.)

Von den nach der obigen Formel bestimmten jährlichen Temperaturgängen seien jene der Quellen α und $\varkappa$ angeführt, erstere mit (relativ) hohem Jahresmittel und großer Jahresamplitude, letztere mit niedrigem Mittel und kleiner Schwankung im Jahre.

				α						α	
J_1 .	5·10	4·81	A_1...	4·73	4·60	J_1 ..	5·10	4·81	O_1...	5·48	5·02
J_2 .	5·13	4·83	A_2...	4·61	4·54	J_2 ..	5·33	4·94	O_2 ..	5·33	4·94
F_1 .	5·14	4·83	M_1 ..	4·55	4·51	A_1...	5·52	5·04	N_1 ..	5·21	4·86
F_2 .	5·10	4·81	M_2 ..	4·57	4·52	A_2...	5·63	5·10	N_2 ..	5·10	4·81
M_1 .	5·00	4·76	J_1 .	4·68	4·58	S_1 ..	5·65	5·11	D_1 ..	5·06	4·79
M_2 .	4·87	4·68	J_2 ..	4·87	4·68	S_2 ..	5·59	5·08	D_2 ..	5·07	4·79

Die Minima sind sehr wenig verschieden (Schmelze des Winterschnees). Das Maximum der am meisten bachabwärts gelegenen Quelle unter den am Bache entspringenden kommt aber erst dem Medium der obersten Quelle gleich. Die für die Quellen berechneten Temperaturextreme sind:

		β	β'		γ'			ζ	ζ'
Minimum	4·55	4·53	4·41	4·41	4·46	4·48	4·44	4·47	4·43
Maximum	5·65	5·57	5·55	5·55	4·56	5·46	5·42	5·51	5·39
	η		ϑ					μ	—
Minimum	4·36	4·36	4·38	4·53	4·51	4·51	4·65	4·58	—
Maximum	5·24	5·24	5·18	5·43	5·11	5·31	5·23	5·56	—

Die vor vielen Jahren von meinem Vater angestellten sechszehnjährigen Beobachtungen der temporären Schneegrenze an den Bergen um Innsbruck bieten ein Mittel, die Annahmen, zu welchen die aufgestellte Gleichung betreffs der Schneefall- und Schneeschmelzzeiten führt, zu überprüfen. Es empfahl sich, die Werte für die Südexposition (Solsteinkette) zum Vergleiche heranzuziehen. Zu beachten war auch, daß die als Wärmequelle wirkende Talsohle dem Niveau von 1500 *m* im Gschnitztal um 720 *m* nähergerückt ist, doch übt die breite Sohle des Inntales

einen größeren thermischen Einfluß aus. In meiner Bearbeitung[1] jener Beobachtungen findet sich eine Tabelle, welche die Termine des Eintretens und Schwindens der Winterschneedecke, des letzten Schneefalls im Frühling und des ersten Herbstschneefalles von 100 zu 100 *m* für Nord und Süd aufzeigt.

Der Eintritt der Winterschneeschmelze (11. April) weicht in der Höhe des Burgweghorizonts nur um vier Tage vom Anfangspunkt des Wellentals ab, welches die abkühlende Wirkung jener Schmelze auf die Quellenwärme zum Ausdruck bringt. Der Schwund des letzten Frühlingsschnees kann sich im Gange der Quellenwärme nicht besonders bemerkbar machen. Dagegen muß der Eintritt des ersten Schneefalls im Herbste in naher zeitlicher Beziehung zum Anfangspunkte des Wellentales stehen, welches die Depression der Quellenwärme durch die Herbstschneefälle veranschaulicht, doch so, daß er diesem Punkt um eine Anzahl von Tagen vorauseilt. Das Schmelzwasser dieses ersten Schnees dringt ja in einen sehr erwärmten Boden ein und hat so, bis es zu den Quelladern gelangt, seine abkühlende Wirkung schon eingebüßt. So ist der 2. Oktober als mittlerer Termin jenes Schneefalles in 1500 *m* in guter Übereinstimmung mit der gemachten Annahme. Daß dagegen der Beginn der dauernden Schneedecke (Süd, 1500 *m*), 2. Dezember, dem Anfangspunkte des Wellenberges, welcher der Kälteschutzwirkung dieser Decke entspricht, um vieles vorauseilt, ist wohl darauf zurückzuführen, daß die völlige Umstellung der thermischen Verhältnisse, welche hier Platz greift, lange Zeit beansprucht.

Durch die aufgestellte Sinusformel wird die Gestaltung der Quellenthermik in ihren Hauptzügen aufgezeigt. Die Einflüsse des Thermo- und Hydroklimas kommen durch zwei Sinusglieder, der erstere durch die Hauptwelle, der letztere durch die Doppelwelle, zum Ausdruck.

Die thermoklimatische Sinuswelle.

Die vor vielen Jahren auf Anregung meines Vaters drei Jahre hindurch vorgenommenen monatlichen Messungen der Bodentemperatur[2] auf dem Barbarahügel hangabwärts von den Quellenhorizonten des Burgwegs und des Val Schwern bieten ein Mittel, den Einfluß der Bodenwärme auf die Quellenwärme

[1] F. v. Kerner, Untersuchungen über die Schneegrenze im Gebiete des mittleren Inntales. Denkschr. d. Akad. der Wiss., mathem.-naturwiss. Kl., LIV. Bd., 1887.

[2] F. v. Kerner, Die Änderung der Bodentemperatur mit der Exposition. Diese Sitzungsber., Bd. C, Mai 1891.

festzustellen. Da sich dieser Hügel aus dem Bergabhang erhebt, sind die im Umkreis seiner Kuppe gemessenen Temperaturen vom Gebirgsgrundwasser völlig unbeeinflußt. Aus Messungen in 70 *cm* Tiefe und einigen ergänzenden dicht unter der Oberfläche ließ sich ein logarithmisches Dekrement von 0·301 und eine Retardation von $17^1/_4$ Tagen ableiten und es konnten so mit dem doppelten Parameter p' der aufgestellten Gleichung als Amplitude geothermische Tiefenäquivalente für die Quellen bestimmt und die denselben entsprechenden Retardationen erhalten werden.

In Tabelle IV bedeutet Ap die Amplitude der geothermischen Sinuswelle $= 2\,p'$, P das mit ihr aus

$$P = \frac{1 \cdot 3345 - \log Ap}{0 \cdot 301}$$

bestimmte Tiefenäquivalent und R die Retardation. 1·3345 ist der Logarithmus der Amplitude an der Bodenoberfläche (21·6), R in Winkelgraden ausgedrückt.

Tabelle IV.

Quelle	Ap	$A'p$	P	P'	R	R'
α .	75	106	4·85	4·35	83°39′	75°2′
β .	71	100	4·65	4·43	80°12′	76°25′
β′ .	78	110	4·79	4·29	82°37′	74°
γ . .	78	116	4·79	4·29	82°37	74°
γ′ .	75	106	4·85	4·35	83°39′	75°2′
δ . .	66	94	5·02	4·52	86°35′	77°58′
ε .	66	94	5·02	4·52	86°35′	77°58′
ζ .	64	90	5·05	4·58	87°37′	79°
ζ′ . .	65	92	5·08	4·55	87°6′	78°29′
η .	59	84	5·18	4·68	89°21′	80°44′
η′ . . .	58	82	5·22	4·72	90°	81°25′
ϑ .	54	76	5·33	4·83	91°53′	83°19′
. .	61	86	5·15	4·65	88°50′	80°12′
κ .	41	58	5·72	5·22	98°40′	90°2′
λ .	44	62	5·62	5·12	96°56′	88°19′
λ′ .	40	56	5·77	5·27	99°31′	90°54′
μ . .	50	70	5·44	4·95	93°50′	85°23′

Zum Vergleiche sind die entsprechenden Größen für die Quellentemperaturkurve unter den Bezeichnungen $A'\,P'\,R'$ angeführt ($A' = 2\,[t_{\text{VI}} - t_{\text{III}}]$). Das aus der Amplitude der Quellenwärme abgeleitete Tiefenäquivalent ist um einen halben Meter

kleiner als das aus der geothermischen Schwankung $2\,p'$ erhaltene. Dem entspricht eine Verringerung der Verspätung um 8° 37′

In Tabelle V bedeuten R_g die um den Phasenwinkel des Temperaturminimums an der Bodenoberfläche, 16° 16′ vergrößerte und auf ganze Grade abgerundete Retardation, R_h die Verspätung des Minimums der Quellenwärme (Phase 135) gegenüber dem der Bodentemperatur, M_s die graphisch extrapolierte Eintrittszeit des Maximums der Quellentemperatur, V_s die Verfrühung dieses Maximums gegenüber der Eintrittszeit des Höchstwertes der Bodenwärme, letztere Zeit — weil die Verspätungen für beide Temperaturextreme als gleich groß anzunehmen sind — mit dem Werte von R_g vom 15·5 Juli ab gerechnet.

Tabelle V.

Quelle	R_g	R_h	M_s	V_s	Quelle	R_g	R_h	M_s	V_s
α .	91	44	52	—39	η .	97	38	51	—46
β . .	93	42	39	—54	η′ .	98	37	53	—45
β′ .	90	45	42	—48	ϑ .	99	36	55	—44
γ .	90	45	42	—48	.	96	39	51	—45
γ′ .	91	44	38	—53	κ .	106	29	51	—55
δ . .	94	41	48	—46	λ .	104	31	57	—47
ε . . .	94	41	50	—44	λ′ .	107	28	53	—54
ζ . . .	95	40	49	—46	.	102	33	64	—38
ζ′ .	95	41	48	—47	—	—	—	—	—

Bei den Gebirgsschuttquellen kommt es zu einem jahreszeitlichen Richtungswechsel der thermischen Phasenversetzungen zwischen dem Erdboden und den Quellen. Im Frühling erfährt das Temperaturminimum der Quellen gegenüber dem im Erdboden eine Verspätung um etwa eineinhalb Monate. Im Sommer tritt bei dem Maximum der Quellenwärme eine Verfrühung gegenüber dem Wärmemaximum im Boden in ungefähr demselben Zeitbetrag ein.

Die hydroklimatische doppelte Sinuswelle.

Durch die vier Hälften der zweifachen hydroklimatischen Sinuswelle werden die vier Phasen der Einwirkung der Hydrometeore auf die Quellenwärme zur Darstellung gebracht. Das vom aufsteigenden Ast des Wellentals der einfachen Sinuskurve abgesetzte Wellental entspricht der Abkühlung durch die Winterschneeschmelze. Der dem aufsteigenden Aste des primären

Wellenbergs aufgesetzte Berg bringt die Erwärmung durch die Sommerregen zum Ausdruck. Das vom absteigenden Ast des Berges der Primärwelle abgesetzte Tal zeigt die Abkühlung durch die Herbstschneefälle auf. Der dem absteigenden Aste des Tales der Hauptwelle aufgesetzte Wellenberg bedeutet den Kälteschutz durch die Decke des Winterschnees. Die Hydrometeore bringen so für die Quellwässer in den Übergangsjahreszeiten Abkühlungen, im Winter einen Schutz vor solchen und nur im Sommer eine Erwärmung. Diesen vier Phasen entsprechen vier Wechsel in der thermischen Bedeutung des Niederschlags im Jahreslaufe. Bei der Schmelze des Winterschnees vertauscht derselbe seine Rolle als Kälteschutz mit der eines Kältebringers. Beim Übergang des Niederschlags aus der festen in die flüssige Form im Vorsommer wandelt sich derselbe aus einem Kältebringer in einen Wärmelieferer um. Bei der Ablösung der Sommerregen durch die Herbstschneefälle wandelt er sich wieder in einen Kältebringer zurück. Bei dem Eintritt der dauernden Winterschneedecke wechselt der Niederschlag seine Rolle als Kältebringer mit der eines Beschützers vor Kälte. Die Zeitpunkte, in welchen diese vier meteorologischen Wendepunkte in der Bodentiefe der Quelladernetze merkbar werden, sind die vier Schnittpunkte der Sinuskurven.

Den Scheitelpunkten der vier Halbbögen der Doppelwelle entsprechen die Zeitpunkte, in welchen sich Wendepunkte in der Stärkeentfaltung meteorischer Kräfte in der Bodentiefe der Quelladergeflechte kundgeben. Das Minimum der Quellentemperatur entspricht dem Maximumwert der Abkühlung, welcher aus dem Gegenspiel der bei emporrückender Sonne sich steigernden Menge von Schmelzwasser und der gleichzeitig wegen der zunehmenden Länge des Weges von der Schneegrenze bis zu den Quellen sich vollziehenden Minderung seiner abkühlenden Wirkung erwächst. Das Maximum der Quellentemperatur ergibt sich aus dem Zusammenwirken der im Juli eintretenden Höchstwerte zweier die Quellwasserwärme günstig beeinflussenden meteorischen Kräfte, der Menge des Sommerniederschlages und der Höhe der sommerlichen Lufttemperatur. Das Maximum der Abkühlung im Herbste erscheint als das Ergebnis des Wechselspiels der im Laufe des Herbstes abwechselnd Platz greifenden, Schneefall erzeugenden und die Schneeschmelze fördernden Kräfte. Das Maximum des von der Winterschneedecke ausgeübten Kälteschutzes erwächst aus der Gegenwirkung beginnender Schmelzprozesse gegen das Dickenwachstum infolge von Winterschneefällen.

Fig. 1 zeigt die Auflösung des jährlichen Ganges der Quellenwärme in eine thermoklimatische einfache und in eine hydroklimatische doppelte Sinuswelle. Die Werte von $M+p'+p''$ sind zur Zeichnung einer ausgezogenen Linie, die Werte von $M+p'$ zur Zeichnung einer punktierten Kurve benutzt. Als

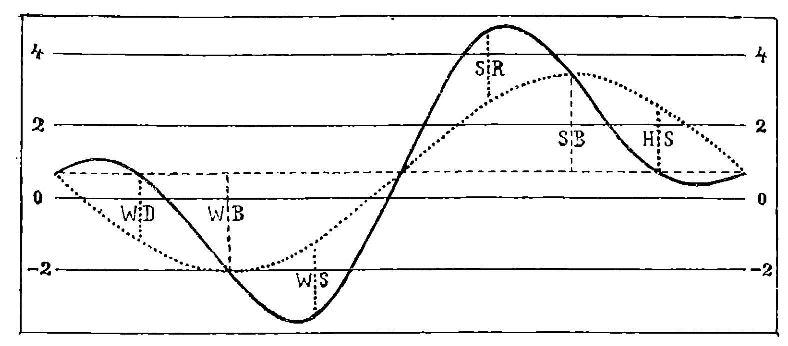


Fig. 1. Berechneter jährlicher Wärmegang der Quellen am Burgweg. WD = Winterschneedecke. WS = Winterschneeschmelze. SR = Sommerregen. HS = Noch abschmelzende Herbstschneefälle. WB = Bodenerkaltung im Winter. SB = Bodenerwärmung im Sommer. Die Ziffern bedeuten Zehntelgrade; als Ausgangspunkt der Zählung ist 5·0° gewählt.

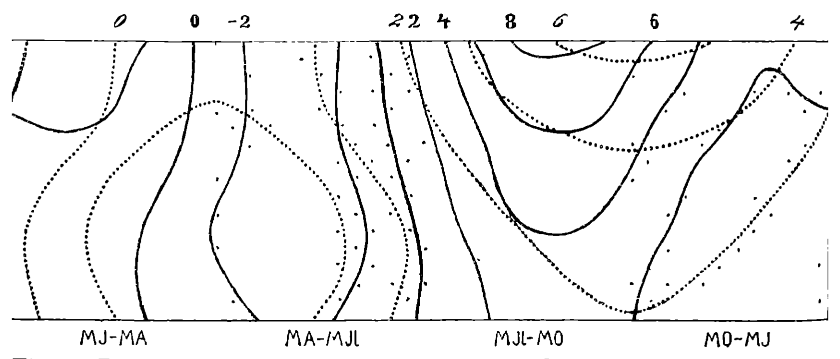


Fig. 2. Berechnete jährliche Wärmeverteilung in der Quellreihe am Burgweg. MJ = Mitte Jänner, MA = Mitte April, MJl = Mitte Juli, MO = Mitte Oktober. Von den Ziffern gilt das bei Fig. 1 Gesagte.

Beispiel ist Quelle η' gewählt, deren berechnete Jahresamplitude (auf Grund der noch zu besprechenden siebensommerlichen Messungen) 0·80 beträgt: Min. 4·67, Max. 5·47, Med. 5·07. Fig. 2 stellt den in Fig. 1 in einem Einzelprofil aufgezeigten thermischen Sachverhalt flächenhaft dar. Die Darstellung reicht von Quelle β

bis z, eine Erstreckung von etwa 66 *m*. Die Zeichnung stützt sich auf die siebensommerlichen Messungen, deren Rechnungsresultate mehr ausgeglichen sind. Dadurch daß 0·2 hohe Temperaturstufen gewählt wurden, schwand die Gefahr einer Verwirrung des Bildes wegen Eintragung zweier Liniensysteme. Die Geo- und Hydroisothermen — letztere als ausgezogene, erstere als punktierte Linien gezeichnet — stören sich gegenseitig nicht und lassen die Lageverschiedenheit der durch sie geformten Wärmerücken und Kältetäler klar erkennen.

Dem Gedanken, die hydroklimatischen Wellenstücke einer zahlenmäßigen Betrachtung zu unterziehen, kann man beim Mangel ausreichender Rechnungsgrundlagen nur bedingt nähertreten. Für die Schutzwirkung der Winterschneedecke läßt sich als fördernde Variable die wachsende Deckendicke einsetzen, welche sich durch Summierung der für sukzessive Halbmonate ermittelten Schneefallhöhen ergibt. Diese konnte ich aus von mir anläßlich meiner Arbeit über die Val Schwern-Quellen vorgenommenen Schätzungen gewinnen. Als die Schutzwirkung schwächende Variable kommt der Fehlbetrag an Sonnenstrahlung gegen die Besonnung um Mitte April in Betracht, weil die Lufttemperatur noch wenig schmelzfördernd wirkt (Überschreitung des 0-Punktes kurz vor Ende März) und auch der Regen als Schneeverzehrer noch wenig wirksam sein kann. Vor Jahren habe ich aus Zenker's großer Tabelle III, welche das terrestrisch modifizierte Solarklima von zwei zu zwei Breitengraden zur Darstellung bringt[1], für die Breite von Trins, 47° 5', durch lineare Interpolation (48° und 46°) monatliche Strahlenmengen abgeleitet und hieraus durch Summierung der für sukzessive Halbmonate geltenden Mengen Relativwerte erhalten, welche sich mit denen der Schneefallhöhen zwecks Ermittlung eines Optimums für die genannte Schutzwirkung verbinden ließen.

D = Werte der wachsenden Schneedeckendicke.

d = Relativwerte des abnehmenden Fehlbetrages der Sonnenstrahlung gegen die Strahlung um Mitte April.

	Mitte Jänner	Ende Jänner	Mitte Februar	Ende Februar	Mitte März	Ende März	Mitte April
D	0	25·5	51·0	76·5	101·4	126·3	129·3
d	4109	3801	3300	2798	1970	1142	0
$D.d$	0	969	1683	2140	1998	1442	0

[1] Zenker W., Der thermische Aufbau der Klimate aus den Wärmewirkungen der Sonnenstrahlung und des Erdinnern. Halle 1895, Nova Acta, Bd. LXVII.

Es ergeben sich optimale Bedingungen für die Scheitelregion des ersten Berges der Doppelwelle. Obertags wird ein Unterschied zwischen dem auf- und absteigenden Aste der Welle, welche der dauernden Schneedecke entspricht, insofern merkbar, als im Aufstieg das Bild des mit lockerem, glitzerndem Staubschnee überschütteten Bodens überwiegt, im Abstieg sich aber der Anblick einer zusammengesinterten, stellenweise durchlöcherten verharrschten Schneedecke einstellt.

Bei einer rechnerischen Betrachtung des ersten Tales der Doppelwelle hat man als die Abkühlung fördernde Variable die Sonnenstrahlung und Lufttemperatur; je mehr beide zunehmen, desto mehr wächst die Menge der Schmelzwässer an. Unbekannt bleibt das Gewichtsverhältnis, in welchem diese beiden Kräfte einzusetzen sind. Bei den Werten der Sonnenstrahlung wegen der Bewölkung einen Abstrich zu machen, erschiene unangebracht, weil sich diese nach einer allerdings inhomogenen, in Trins zustande gekommenen Reihe im Spätfrühling und Frühsommer als fast konstant erwies: April 6·8, Mai und Juni 6·9, Juli 7·0. Zwecks Gewinnung von Relativwerten der Sonnenstrahlung wurden die aus Zenker's Tabelle abgeleiteten Halbmonatswerte in Prozenten der Strahlung um Mitte April ausgedrückt und die prozentischen Überschüsse über diese Strahlung bestimmt $= S$. Zwecks Ermittlung der für die Schneeschmelze wirksamen Lufttemperaturen wurden die Höhenlagen der temporären Schneegrenze h_s für die Monatsmitten und Monatsenden interpoliert und die auf ihnen herrschenden Temperaturen auf Grund der von Hann[1] als für Nordtirol gültig angeführten monatlichen Temperaturabnahmen mit der Höhe bei Wahl von Trins als Basisstation[2] festgestellt $= t_s$.

Um die so erhaltenen Werte mit denen der Sonnenstrahlung zu einer Variablen vereinen zu können, wurden sie gleichfalls in Prozenten des Wertes um Mitte April ausgedrückt und dann um die Einheit vermindert $= T$

Die für die vorgenannten Größen gefundenen Zahlen siehe nächste Tabelle.

Bei den Werten von S und T ist der Dezimalpunkt vor der ersten Ziffer weggelassen. Die für die Temperatur an der Schneegrenze erhaltenen Werte sind etwas niedriger als die seiner-

---

[1] J. Hann, Die Temperaturverhältnisse der österreichischen Alpenländer, III. Teil, S. 43. Diese Sitz.-Ber., XCII. Bd., 1885.

[2] W. Trabert, Isothermen von Österreich. Denkschr. d. Akad. d. Wiss., LXXIII. Bd., 1901.

	Mitte April	Ende April	Mitte Mai	Ende Mai	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli
S.	0	1116	2123	2735	2909	2823	2521
h_s	1540	1720	1850	2080	2330	2510	2730
t_s	3·09	3·93	5·05	5·30	5·41	5·44	5·28
T	0	2718	6343	7152	7508	7605	7087

zeit bei anderen Rechnungsgrundlagen für das Inntal von mir gefundenen.

Als die Abkühlung schwächende Variable hat man den Abstand der temporären Schneegrenze vom Quellenhorizont. Es wurden auf der Spezialkarte 1:25000 die Flächeninhalte der 100-*m*-Höhenzonen im Padailgraben ausgemessen, in Prozenten der Gesamtfläche dieses Grabens oberhalb der Quellen dargestellt und die den Höhen der temporären Schneegrenze zu den Monatsmitten und Monatsenden entsprechenden noch schneebedeckten Teile des Sammelgebietes der Quellen ermittelt $= F$. Diese die Verzögerung der Erwärmung der Schmelzwässer ausdrückenden Werte sind — wenn sie mit S und T kombiniert werden sollen — mit einem Exponenten $e < 1$ zu versehen, weil die Erwärmung jener Wässer auf ihrem schon schneefreien Wege zu den Quellen rascher als die Weglänge zunimmt. Es ist:

	Mitte April	Ende April	Mitte Mai	Ende Mai	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli
F	100	83·67	65·81	37·28	5·80	0	0
$F^{4/5}$	39·81	34·51	28·48	18·08	4·08	0	0

Die Ableitung eines Termines, zu welchem bei allerdings schon großer Schmelzwassererwärmung noch eine größtmögliche Schneemenge schmilzt, bleibt problematisch, weil das Gewichtsverhältnis von S zu T unbestimmt ist.

$S.F$ ergibt für die Termine Ende April, Mitte Mai, Ende Mai die Werte 934, 1396, 999 $\frac{1}{2}(S+T).F^{4/5}$ ergibt 662, 1206, 894. Beide Rechnungsansätze erbringen einen scharf ausgeprägten Bestwert um die Maimitte, 15 Tage vor dem Minimum der Quellenwärme. Die Bewegung der Schmelzwässer von der temporären Schneegrenze bis zu den Quellen läßt sich in eine längs der Bodenoberfläche und in eine nach der Tiefe zu zerlegen. Die vorige

Betrachtung zeigte die erstere Bewegungskomponente auf. Die zweite Maihälfte entspricht so der Zeit, auf welche das Absinken der Wässer zu den Quelladergeflechten entfiele, wenn der Bewegungsvorgang in seine Komponenten zerlegt stattfände.

In meiner Arbeit[1] über die Quellentemperaturen im Val Schwern habe ich für die jährliche Niederschlagsverteilung in 1800 *m* Seehöhe nicht jene an der benachbarten Talstation Trins, sondern jene an der mehr entfernten Südhangstation Salzberg angenommen, mit der Begründung, daß, wenn diese Annahme nicht wahrscheinlich dünke, sie doch einer willkürlichen vorzuziehen sei. Daß man in Nordtirol bei Fragen der jährlichen Niederschlagsverteilung die Seehöhe in Rechnung ziehen müsse, wird durch die große Verschiedenheit der Werte am Salzberg und in der benachbarten Talstation Hall bezeugt.[2] So war auch bei der Schätzung der Verhältnisse in dem dem Val Schwern westlich benachbarten Padailgraben auf die Sachlagen an der langjährigen Station Salzberg Bezug zu nehmen. (Die hochgelegene Südhangstation Seegrube ober Innsbruck verfügt noch nicht über eine langjährige Reihe.)

Der Scheitel der Regenkurve des Salzberges fällt in die Mitte der zweiten Julihälfte, in welche auch das Sommermaximum der Temperaturkurve von Trins zu liegen kommt. Die Wärmewirkung der Sommerregen auf die Quellen verspätet sich so im Durchschnitt um eineinviertel Monate. Um auch auf den zweiten Berg der Hydrodoppelwelle einen ziffermäßigen Blick zu tun, wurden auf Grund der schon erwähnten Tabelle Hann's die Sommertemperaturen auf den Höhenlinien des Padailgrabens bestimmt und um 8° herabgesetzt. Da die Sommerregen in unserem Gebiet ungefähr um 3° kälter als die Luft sind und die Quellen am Burgweg durchschnittlich 5° Wärme aufweisen,

h	Ende Mai	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.
2100 ..	—	—	0·3	1·2	1·2	0·6	—	—
1900 .	—	0·2	1·5	2·4	2·4	1·8	0·8	—
1700 ..	—	1·5	2·8	3·6	3·8	3·0	2·0	0·6
1500 ...	1·3	2·8	4·0	4·8	4·9	4·2	3·0	1·7

[1] F. v. Kerner, Der Einfluß der Schneeschmelze auf den Wärmegang der Gebirgsquellen. Diese Sitz.-Ber., 147. Bd., 1. u. 2. Heft, 1938.

[2] F. v. Kerner, Ein bemerkenswerter Fall von Änderung der jährlichen Niederschlagsperiode mit der Seehöhe. Meteorolog. Zeitschr. 1939, Heft 5.

kommen nur in den Zeiten, in denen die Luftwärme 8° übersteigt, die Regen als Wärmebringer in Betracht. Im Vorstehenden ist die Verteilung dieser aktiven Temperaturen nach Höhe und Zeit mitgeteilt.

Von den von mir versuchten Schätzungen der monatlichen Regenmengen im Quelleneinzugsgebiete in 1800 *m* Höhe kamen zwecks Multiplikation mit den Summen der vorangeführten Wärmezahlen (= Σ) die Mengen der niederfallenden atmosphärischen Wässer in Betracht (= *R*), nicht die durch Verdunstung und oberflächlichen Ablauf verminderten Wassermengen. Man hat:

h	Ende Mai	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.
Σ	0·65	3·10	6·45	9·00	9·25	7·20	4·30	0·95
R . .	102	120	138	156	143	129	115	101
Σ·*R*. .	66	372	890	1404	1323	929	495	96

Die Werte von Σ wurden durch Addition der für die drei Höhenzonen 1500—1700, 1700—1900, 1900—2100 *m* erhaltenen Mittelwerte erzielt. Die aufscheinende Kurve ist ziemlich symmetrisch gestaltet, aber steiler als die Sinuswelle. Daß die durch sie zum Ausdruck kommenden Einflüsse auf die Quellenwärme doch in einer solchen Welle ihre Darstellung finden, erklärt sich daraus, daß das Regenwasser sehr verschieden lange braucht, um zu den Quelladern zu gelangen, je nachdem es im untersten oder mittleren Teile des Padailgrabens niederfällt. Es muß dies eine Abflachung des Scheitels der die maximalen Wärmewirkungen aufzeigenden Kurve bedingen.

Ein Versuch, das zweite Tal der Doppelwelle rechnerisch zu betrachten, kann nicht unter dem Gesichtspunkt eines Optimums erfolgen. Bei einem solchen kommen zwei Kräfte in Betracht, welche ein Phänomen gleichzeitig in entgegengesetztem Sinne beeinflussen. Ein Höchstmaß abkühlender Wirkung auf die Quellwässer im Herbste erwächst aber aus günstigsten Bedingungen für Schneefall und für Schneeschmelze. Diese können nicht gleichzeitig erfüllt sein. So lassen sich für die Eintrittszeit des zweiten unteren Wellenscheitels gar nicht Durchschnittswerte der sie bedingenden Kräfte ableiten; sie erscheint als eine Funktion der Veränderlichkeit der Lufttemperatur innerhalb eines bestimmten Zeitraumes. Die Wahrscheinlichkeit, daß diese möglichst oft abwechselnd schneebildend und schneetilgend wirkt, ist zur Zeit der Durchschreitung der Null-Linie durch die jährliche

Temperaturkurve am größten; sie ist also seehöhebedingt. Die meiste schneeige Kondensation erfolgt aber nicht beim Sinken der Temperatur von 0° auf —1° — wie es der Fall wäre, wenn die Mitteltemperatur eines Monats während dessen ganzer Dauer anhielte —, sondern, wie ich durch Rechnungen gezeigt habe,[1] wegen der aperiodischen Veränderlichkeit der Monatstemperaturen bei Temperaturen zwischen —3° bis —4° (je nachdem die aperiodische Monatsamplitude klein oder groß ist). Mittels der schon erwähnten Angaben von Hann konnten die mittleren Termine der Durchschreitung des Nullpunktes und der —3·5 Isochimene für sukzessive Höhenlinien im Padailgraben bestimmt werden:

0°			—3·5°		
1500	1700	1900	1500	1700	1900
17. XI.	12. XI.	6. XI.	9. XII.	XII.	1. XII.

Als untere Temperaturgrenze für den Eintritt einer Schneeschmelze kommt der Termin der Überschreitung des 0-Punktes zur wärmsten Tagesstunde in Betracht. Er mag ungefähr halbwegs zwischen den vorangeführten Tagen liegen, da die tägliche Wärmeamplitude im November gering ist.

Eine Hinausschiebung des Zeitpunktes, zu welchem die Wahrscheinlichkeit eines Wechsels von Schnee bildenden und Schnee tilgenden Bedingungen am größten ist, wirkt sich insofern als günstig für die Minderung der Quellenwärme aus, als die Niederschläge vom November zum Dezember zunehmen. Es ist das eine im mittleren Inntale und Wipptale vielverbreitete Erscheinung (Hall, Innsbruck, Matrei, Trins). Für die zur Abschätzung der Sachlage im Padailgraben herangezogene Station ergeben sich für die genannten Monate folgende Zahlen: relative Menge 5·2 und 7·8, absolute Menge 57 und 86 *mm*, in den Boden eindringende Menge 41 und 72 *mm*.

Fehlerbestimmungen.

Als nächstliegendes Mittel zur Prüfung des Wertes einer Formel ergibt sich die Bestimmung der Fehler, mit welchen sie die gemessenen Werte wiedergibt. Eine sinngemäße Anwendung dieses Mittels setzt voraus, daß nur solche Werte wiedergegeben sind. Wenn die Formel in weitgehendem Maße zu Extrapola-

[1] F. v. Kerner, Schneefallmengen bei Mitteltemperaturen nahe dem Gefrierpunkt. Meteorolog. Zeitschr., 1938, Heft 2, und F. v. Kerner, Über die Wachstumsgrenzen des Schneefalls bei sinkender Temperatur. Ebendort, 1936, Heft 7.

tionen dient, ist nicht zu erwarten, daß sich dort, wo sie Messungen wiedergibt, eine gute Anschmiegung an diese zeigt. Die mittleren Abweichungen der berechneten Termintemperaturen von den gemessenen sind:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
09	07	0	08	04	0	07	15

Die schlechte Wiedergabe der Temperatur des achten Messungstermines hat den Grund, daß sich infolge rechnerischen Ausgleiches das berechnete Maximum auf Mitte September verschiebt und so die aus dem Formelaufbau erwachsende Temperatur für den Oktoberbeginn eine sehr hohe wird. Wenn auch die Wiedergabe der anderen Terminwerte als eine nicht sehr befriedigende erscheint, so ist zu betonen, daß der Zweck der Formelaufstellung im vorliegenden Fall nicht die Gewinnung eines möglichst vollwertigen Ersatzes für beobachtete Werte ist, sondern die Aufdeckung des Gesetzes, welches man aus einer hydrophysikalischen Erscheinung herauszulesen vermag. Die mittleren Fehler verringern sich auf die folgenden:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
07	05	0	06	04	0	05	08

wenn man die Temperaturen nach der einfachen Sinusformel

$$t = M + 2\, p'' \sin (180° + x)$$

bestimmt und doch ist es vorzuziehen, den Wärmegang von Gebirgsschuttquellen von Mitte Juli bis Mitte Oktober durch Überlagerung des aufsteigenden Astes eines einfachen Sinusbogens durch den Bogen einer Doppelwelle darzustellen.

Mit der obigen Betonung wird stillschweigend zugegeben, daß bei Formeln, welche ein Gesetz zum Ausdruck bringen, an die Genauigkeit der Wiedergabe geringere Ansprüche gestellt würden. Im vorliegenden Falle verhält es sich so, daß die den Sachverhalt klar aufzeigende Auflösung der Quellentemperatur in eine thermoklimatische einfache und in eine hydroklimatische Doppelwelle mit dem Fehler erkauft wird, daß vier Einflüsse, von denen man annehmen muß, daß sie nicht gleich groß sind, als größengleich aufscheinen. Das kommt davon her, daß durch die Doppelwelle nicht ein im Jahre zweimal sich in gleicher Weise wiederholendes Geschehen dargestellt wird. Es ist zu vermuten, daß die Wirkungen der Sommerregen und der Schneedecke auf die Quellenwärme als Parameter von ungleicher Länge erscheinen müßten, wobei es noch unbestimmt sein mag, welchem ther-

mischen Einfluß der längere Parameter zukomme. Dagegen ist es als sicher anzunehmen, daß die abkühlende Wirkung der Winterschneeschmelze auf die Quellwassertemperatur größer ist als die der Herbstschneefälle.

Daß aber auch das Herbstwetter als Abkühler von Quellwässern bedeutsam sein kann, wurde in jüngster Zeit durch Beispiele belegt. 1939 stellte sich in der zweiten Oktoberhälfte im Wipptal das Bild tiefsten Winters ein, begleitet von Lufttemperaturen, die in Trins —9° erreichten. Im Laufe des November zog sich die Schneelinie aber doch bis zur Waldgrenze zurück. Im Herbste 1940 gab es mehrere starke Schneefälle und daraufgefolgte Schneeschmelzen. Anderseits kann die Abkühlung der Quellwässer durch die Schneeschmelze im Frühling verringert sein, wenn im Winter Föhnstürme wüteten. Dabei werden Wellenberg und Wellental von der Abflachung ergriffen, denn Schneeschwunde im Winter vermindern die Kälteschutzwirkung dieser Jahreszeit. Ich erinnere mich noch des 1. Jänner 1878, als ein in der Neujahrsnacht losgebrochener Föhn die weiß schimmernden Nadelwälder bis weit hinauf schwarz werden ließ. Doch kann sich auch der zweite Berg der Doppelwelle abflachen, wenn es bei feuchtkühlem Nordwestwetter im Sommer zu Niederschlägen in fester Form kommt. Ich erinnere mich noch des 23. Juli 1883, als ein bis in die Talsohlen vorgedrungener Schneefall dem in vollem Blätterschmucke gestandenen Laubgehölz argen Schaden zufügte.

In meiner Quellenarbeit[1] vom Jahre 1939 legte ich dar, daß sich auch zur rechnerischen Fassung von Quellentemperaturen in erster Annäherung eine einfache Sinuswelle eigne. Ich erwähnte zwei im handschriftlichen Nachlasse meines Vaters vorhandene Skizzen, denen zufolge die Quellenwärme vom Maximum zum Minimum zuerst rasch, dann lange sehr langsam und dann wieder rasch sinken würde. Dies müßte beim Ersatz der Knicke des Schemas durch Bögen wie eine Lagevertauschung des zweiten und dritten Quadranten der Sinuskurve erscheinen. Ich legte dar, warum eine sehr merkliche Erniedrigung der Quellenwärme durch die Herbstschneefälle und weshalb ein namhaftes Absinken der Quellenwärme durch die Winterschneefälle als Durchschnittsbefunde nicht wahrscheinlich seien. Es konnte auch erwähnt werden, daß je ein ganzes Jahr hindurch von meinem Vater vorgenommene Temperaturmessungen von Quellen am Eingang

[1] F. v. Kerner, Das Wärmebild der Quellen eines Bergabhanges in den Alpen. Diese Sitz.-Ber., 148. Bd., 1. u. 2. Heft, 1939.

ins Gschnitztal und am Patscherkofel keine Fallbeschleunigungen nach Überschreitung des Maximums und vor Erreichung des Minimums erkennen ließen. Die Erforschung der Thermik der Quellen am Burgweg führte zur Erkenntnis, daß der von meinem Vater in jenen Skizzen aufgezeigte Temperaturgang der von Gebirgsquellen aus lockerem Schutte ist. Jene Skizzen wurden unter dem Eindrucke von an solchen Quellen gewonnenen Erfahrungen entworfen. Es ist sicher, daß mein Vater bei seinen Wanderungen in den Nordtiroler Kalkalpen solche Quellen traf und studierte.

Fingerzeige für eine Bestimmung des Phasenwinkels und Parameters einer dreifachen Sinuswelle, welche die Fehler der aus nur zwei Wellen geformten Kurve teilweise ausgleichen könnte, sollte ein Vergleich der berechneten mit den beobachteten Werten bieten. In dem durch Beobachtung festgelegten Stücke des jährlichen Wärmeganges weichen von Quelle α bis ζ' die berechneten Werte im ersten und zweiten Beobachtungstermin positiv, im vierten und fünften negativ, im siebenten und achten wieder positiv von den gemessenen ab. Es läßt sich sonach ein Rhythmus erkennen. Derselbe würde aber auf eine Welle von der Länge eines Viertels des Kreisumfanges weisen, wie sie erst einer vierfachen Sinuswelle entspräche. Bei den Quellen ϑ bis μ ist aber im ersten und zweiten Beobachtungstermin eine positive, im vierten und fünften Termin eine negative Abweichung der berechneten von den gemessenen Werten vorhanden. Das würde auf einen um 45° verschiedenen Phasenwinkel weisen.

Die mittleren Abweichungen der berechneten von den gemessenen Werten sind in der ersten Quellgruppe +8, +9, —7, —5, +9, +14, in der zweiten —11, —5, +8, +7.

Diese Ziffern bieten keine Anhaltspunkte zur Ermittlung eines Parameters. Eine aus hydrophysikalischen Überlegungen heraus versuchte Festlegung des Phasenwinkels für eine Dreierwelle würde ihn so wählen, daß die Abkühlung der Quellwässer durch die Winterschneeschmelze auf Kosten des erwärmenden Einflusses der Sommerregen verstärkt im Erscheinung träte und daß die Wirkung der noch schmelzenden Herbstschneefälle verringert aufschiene. Beim Phasenwinkel 270 würde man für die dreifache Sinuswelle für die Zeit von Mitte April bis Mitte Juni und von Mitte August bis Mitte Oktober ein Tal und für die nächsten zwei Monate einen Berg erhalten. Die Wahl eines Parameters müßte aber aus freiem Ermessen geschehen. Es ist aber an dem Standpunkte festzuhalten, daß eine willkürliche Wertverbesserung nicht besser sei als gar keine. So kann diese Er-

örterung über eine dreifache Sinuswelle nur in die Betonung der Notwendigkeit ausklingen, auch Temperaturmessungen von Gebirgsquellen das ganze Jahr hindurch mindestens halbmonatlich vorzunehmen, im Zeitalter des Schneeschuhes ein nicht mehr unerfüllbares Verlangen.

Die sieben Sommer umfassenden Messungen.

Es bietet nun Interesse, die nur zehngliedrige, aber sieben Sommer umfassende Messungsreihe mit der siebzehngliedrigen, jedoch nur dreijährigen Reihe zu vergleichen. Tabelle VI enthält die auf gleiche Termine reduzierten siebenjährigen Mittelwerte der Halbmonatstemperaturen von zehn Quellen des Burgweghorizonts. In Zahlentafel VII sind sie in Abweichungen vom Horizontmittel dargestellt. Die Konzentration der Eintrittszeiten des Maximums (auf die Sommer-Herbst-Wende) ist noch schärfer ausgesprochen als in der kurzen Reihe. Es kommen Jahre mit reichlichen Sommerregen, den Ursachen der Verfrühung der Maxima stärker zur Geltung. Bei den Minima ist die Unabhängigkeit von der Bodentiefe um ein Geringes weniger deutlich entwickelt. (η und η' um 0·13 kälter als die weiter bachaufwärts gelegenen Quellen.) Auch eine Strömung von gleicher Temperatur kann, wenn sie schon vorhandenes Grundwasser erfaßt, bei ungleicher Geschwindigkeit etwas verschiedene Temperaturen hervorrufen.

Als mittlere Sommertemperaturen und als Amplituden in dem für die Glieder der vorigen Reihe gebrauchten Sinne (S. 76) und als Differenzen gegen die Werte jener Reihe ergaben sich:

Tabelle VI.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
β .	4·80	5·00	5·29	5.55	5·66	5·84	5·65	5·47
β' .	4·80	4·99	5·26	5·55	5·63	5·81	5·61	5·40
δ .	4·84	5·00	5·24	5·47	5·61	5·72	5·56	5·39
ζ	4·82	4·98	5·23	5·49	5·62	5·70	5·58	5·43
ζ' .	4·81	4·97	5·21	5·46	5·53	5·58	5·49	5·33
η .	4·67	4·87	5·07	5·27	5·34	5·46	5·39	5·30
η' .	4·67	4·87	5·07	5·26	5·34	5·45	5·40	5·30
ϑ . . .	4·66	4·85	5·03	5·18	5·34	5·36	5·32	5·22
ι . . .	4·80	4·99	5·20	5·42	5·54	5·52	5·49	5·33
$\varkappa$.	4·69	4·87	5·03	5·12	5·18	5·27	5·22	5·16

Tabelle VII.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
.	+ 4	+ 6	+13	+17	+18	+27	+18	+14
.	+ 4	+ 5	+10	+17	+15	+24	+14	+ 7
.	+ 8	+ 6	+ 8	+ 9	+13	+15	+ 9	+ 6
.	+ 6	+ 4	+ 7	+11	+14	+13	+11	+10
.	+ 5	+ 3	+ 5	+ 8	+ 5	+ 1	+ 2	0
η' .	— 9	— 7	— 9	—11	—14	—11	— 8	— 3
η .	— 9	— 7	— 9	—12	—14	—12	— 7	— 3
ϑ .	—10	— 9	—13	—20	—14	—21	—15	—11
.	+ 4	+ 5	+ 4	+ 4	+ 6	— 5	+ 2	0
.	— 7	— 7	—13	—26	—30	—30	—25	—17

	β	β'		ζ		η	η'	ϑ		
M .	5·41	5·38	5·35	5·36	5·30	5·17	5·17	5·12	5·29	5·07
Δ. .	+24	+24	+23	+28	+24	+21	+20	+20	+20	+16
A ..	1·04	1·01	0·88	0·88	0·77	0·79	0·78	0·70	0·74	0·58
Δ...	—1	—5	—2	+3	—7	+11	+13	+14	+9	+17

Daß die kurze Reihe um durchschnittlich 0·22 kälter ist, kommt daher, daß der für die Quellentemperaturen sehr unternormale Sommer 1919 in sie mit viel größerem Gewichte eintritt.

Der Sachverhalt, daß die oberhalb des Baches entspringende Quelle ζ dieselbe Temperatur zeigt wie die in gleicher Höhe weiter bachaufwärts am Ufer austretende Quelle ζ', ist auch in der siebenjährigen Reihe gegeben. Als Parameter wurden für die Quellen der siebenjährigen Reihe gefunden:

	β	β'		ζ	ζ'	η	η'	ϑ		
p' ..	389	389	339	332	262	276	269	233	226	170
p'' ..	275	275	240	235	185	195	190	165	160	120

Die Temperaturen um die Julimitte sind in der längeren Reihe um 0·26 höher, die Wärmeanstiege bis zur Sommer-Herbst-Wende aber von Quelle ζ ab geringer, somit die Differenzen gegen die Parameter der kürzeren Reihe negativ. Diese zeigt tiefere Jahresmittel und größere Amplituden.

Von den mit den vorigen Parametern und den Temperaturen des dritten Beobachtungstermins als Jahresmitteln berechneten jährlichen Temperaturgängen seien jener für die Quelle mit höchster Mittelwärme und größter Wärmeschwankung und jener für die kühlste Quelle mit geringster periodischer Veränderlichkeit mitgeteilt:

				β							
J_1 ...	5·29	5·03	A_1 . .	4·90	4·86	J_1 .	5·29	5·03	O_1 . .	5·68	5·20
J_2 ...	5·31	5·05	A_2 . .	4·78	4·81	J_2 .	5·53	5·13	O_2 . .	5·53	5·13
F_1 ...	5·31	5·04	M_1 .	4·72	4·78	A_1 . .	5·72	5·22	N_1 . .	5·39	5·08
F_2 .	5·29	5·03	M_2 .	4·74	4·79	A_2 ...	5·84	5·27	N_2 .	5·29	5·03
M_1 ..	5·19	4·99	J_1 .	4·86	4·84	S_1 .	5·86	5·28	D_1 ..	5·24	5·02
M_2 ..	5·05	4·93	J_2 .	5·05	4·93	S_2 .	5·80	5·25	D_2 .	5·25	5·01

Von den anderen Quellen seien nur die Extreme des jährlichen Wärmeganges nebst den Differenzen gegen die aus den dreijährigen Mitteln abgeleiteten Werte angeführt:

			ζ	ζ'	η		ϑ	
Maximum	5·83	5·74	5·72	5·60	5·48	5·47	5·37	5·54
Δ	+28	+28	+31	+21	+24	+23	+19	+11
Minimum	4·69	4·74	4·74	4·82	4·66	4·67	4·69	4·86
Δ	+28	+26	+27	+39	+30	+31	+31	+33

Auch in der längeren Reihe der Sachverhalt, daß das Maximum der kühlsten Quelle dem Medium der wärmsten gleichkommt, das Minimum der kühlsten aber um ein ganz Geringes höher ist als das der wärmsten. Zum Schlusse seien noch die für die Quellen der siebenjährigen Reihe berechneten Tiefenäquivalente und Retardationen (in Winkelgraden) angeführt:

	β	β'		ζ	ζ'	η	η'	ϑ		
P ..	4·79	4·79	4·99	5·02	5·37	5·29	5·33	5·53	5·58	5·99
R ..	82°37′	82°37′	86°5′	86°36′	92°38′	91°15′	91°56′	95°23′	96°15′	103°19′